جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارۀ سوم، پاییز ۱۳۹۱

صص ۷۲-۵۷

تهیۀ نقشۀ خطر فرسایش واقعی خاک با استفاده از مدل کُرین اصلاح شده (مطالعه موردی: حوضۀ آبخیز جهرم)

عادل سپهر[1] ـ استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

سعیده هنرمند نژاد ـ کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۱۱   تاریخ تصویب:۱۳۹۱/۱۰/۱۹

چکیده

فرسایش خاک به عنوان یکی از مخاطرات محیطی، سالانه موجب افت و از بین رفتن حجم وسیعی از خاک‌های حاصلخیز در سراسر دنیا می‌شود. مدل کُرین[2]، مدلی جهت تخمین و ارزیابی خطر فرسایش خاک است. این روش، برای محاسبه فرسایش واقعی خاک به عوامل فرسایش‌پذیری، فرسایش‌دهندگی، شیب و پوشش گیاهی یا کاربری اراضی نیازمند است. در این پژوهش، مدل کُرین منطبق با شرایط آب و هوایی حوضه آبخیز جهرم، اصلاح و از مدل کُرین اصلاح شده جهت برآورد خطر فرسایش خاک منطقه استفاده شده است. بدین منظور بر اساس شاخص فرسایندگی فورنیه، فرسایش‌دهندگی منطقه مطالعاتی محاسبه گردید. همچنین فرسایش‌پذیری خاک نیز بر اساس بافت، میزان سنگریزه و عمق برآورد شد. تلفیق نقشه‌های فرسایش‌دهندگی و فرسایش پذیری با نقشه پوشش گیاهی بر مبنای شیب منطقه، تولید نقشه خطر فرسایش واقعی خاک در منطقه مطالعاتی را به همراه داشت. نتایج پژوهش نشان داد بیش از ۸۰٪ حوضه آبخیز جهرم، دارای خطر متوسط و بالا برای فرسایش بالقوه خاک است؛ در حالی‌که حوضه مذکور از فرسایش واقعی خاک نسبتاً کم‌تری برخوردار است. فرسایش واقعی خاک در منطقه مطالعه شده، حدود ۲۰ ٪ در کلاس بالا قرار دارد. مناطقی که دارای خطر فرسایش واقعی بالایی هستند، در نواحی با بیشترین بارش، بیشترین شیب و کمترین پوشش گیاهی درمنطقه مطالعاتی مشاهده می‌شوند. این نتایج، مؤید نقش پر رنگ پوشش گیاهی در حفاظت از خاک است.

کلیدواژه‌ها: خطر فرسایش واقعی خاک، خطر فرسایش بالقوۀ خاک، مدل کُرین اصلاح شده.

---

۱ نویسندۀ مسوول: ۰۹۱۵۵۰۸۵۷۳۲   Email: adelsepehr@um.ac.ir

2 Corine (Coordination of Information on the Enviroment)

مقدمه

فرسایش که در انگلیسی و فرانسه به آن اروژن[1] می‌گویند، از ریشه لاتین اروِدری[2] به معنی سائیدگی می‌باشد و به معنی سائیده شدن سطح زمین است (رفاهی، ۱۳۷۵: ۲۳). بیش از ۷۰٪ مساحت ایران را محیط‌های خشک و نیمه خشک در برگرفته است. فرسایش خاک یک فرایند پیچیده و خطر ژئومورفولوژیکی بالقوه است و مقدار آن بازتابی از نحوه مدیریت زمین و شاخص‌های محیطی تخریب به شمار می‌رود. همچنین به دلیل خاصیت تشدید شوندگی و اثرات چند جانبه آشکار و نهان محیط زیستی، به سرطان زمین شهرت یافته است (روستایی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۷۳). فرسایش خاک، کاهش ضخامت لایه سطحی خاک به وسیله رواناب یا باد و افت خاک، میزان هدر رفت حجمی از خاک در طول سال است (اختصاصی و سپهر،۱۳۹۰: ۴۳). بانک جهانی و دیگر مراکز تحقیقاتی دنیا نرخ فرسایش را در جهان بین ۱/۲ تا ۳۷ تن در هکتار تخمین زده‌اند (مالاوا و بونـدا[3]، ۱۹۹۹، ص۲). به‌طور کلی بیشترین مساحت در معرض خطر فرسایش در جهان مربوط به قارهٔ آسیا با ۳۵ میلیون هکتار و پس از آن مربوط به قاره‌های آفریقا، آمریکا و اروپاست(کارتاجنا[4]، ۲۰۰٤: ۲۱). سرعت تشکیل ۲۵ میلی متر خاک در۳۰ سال تقریباً برابر است با فرسایش ۱۲/ ۵ تن در هکتار در سال و این رقمی است که اغلب به عنوان حدی که فرسایش نباید از آن بیشتر شود پذیرفته شده است. البته واضح است که میزان قابل قبول خاک از دست رفته ثابت نبوده و به شرایط خاک بستگی دارد (هادسون[5]، ۱۳۷۲). بر اساس مطالعات انجام گرفته در ایران سالیانه به طور متوسط ۱۵۰۰ تن خاک از هر کیلومتر مربع سطح زمین در اثر فرسایش آبی شسته می شود و این بدان معناست که هر سال یک میلیمتر از ضخامت خاک در کشور کاسته می شود (کرمی، ۱۳۷۲ :۱۰). استفاده و بهره برداری از خاک، بدون رعایت اصول اساسی موجب فرسایش خاک گشته و در نتیجه زمین های زراعی و مرتعی فقیرتر، حجم رواناب و سیلاب افزون تر، رسوب گذاری در پایین دست و بستر رودخانه ها و مخازن سدها بیشتر و در نهایت باعث ایجاد مشکلات فراوان می شود (شاهویی، ۱۳۷۷: ۳۰).

در ارتباط با برآورد فرسایش خاک، آنچه مهم است انتخاب مدل‌ها و روش‌هایی است که قادر به برآورد افت یا فرسایش واقعی خاک باشند. خروجی مدل‌هایی مانند EPM[6]، PSIAC[7]، FAO، IRIFR[8]، میزان و شدت فرسایش خاک با توجه به عامل فرسایش دهنده است که در نهایت شدت فرسایش بادی و آبی بر حسب مدل تهیه خواهد شد. اما روش‌ها و مدل-هایی چون ماسگریو، USLE[9] و MUSLE، میزان افت واقعی خاک را در طول سال برآورد می‌کند. مدل کُرین نیز از جمله

1 Erosion
2 Eroderi
3 Malava&Bonda
4 Cartagena
5 Hadson
6 Erosion Potential Method
7 Pacific Southwest InterAgency Committee
8 Iran Research Institute of Forest and Rangelands
9 Universal Soil Loss Equation

روش هایی است که قادر به برآورد میزان فرسایش واقعی و بالقوه خاک است. منظور از فرسایش‌دهندگی[۱]، مقدار نیرویی که برای انجام فرسایش لازم است و از میان عوامل طبیعی بارش و دما فاکتورهای فرسایش‌دهنده طبیعی محسوب می‌شوند. فرسایش‌پذیری[۲] عبارت از مقاومت خاک در برابر جدا شدن و انتقال ذرات خاک است (رفاهی،۱۳۸۵: ۱۸). برای درک بهتر تفاوت این دو اصطلاح، می‌توان این طور مثال زد که یک انسان دارای سیستم ایمنی در برابر بیماری‌هاست، عامل بیماری و آسیب به سیستم ایمنی را می‌توان ویروس دانست که به مثابه بارش یا عامل فرسایش دهنده عمل می‌کند. مقاومت و حساسیت سیستم ایمنی به ویروس را می‌توان به مثابه مقاومت و یا فرسایش پذیری خاک در برابر عامل فرسایش یا بارش دانست. حال ممکن است یک فرد با محافظت از بدن مانند پوشیدن لباس کافی، مقاومت سیستم ایمنی را بالا برد که این امر به مانند وجود پوشش گیاهی و کاربری مناسب در خاک می‌باشد که موجب مقاومت در برابر فرسایش می‌شود. نقشه پتانسیل فرسایش خاک بیانگر مقدار پتانسیل فرسایش خاک یا قابلیت فرسایش خاک در آینده است. فعالیت‌های تحقیقاتی زیادی در ایران در ارتباط با فرسایش صورت گرفته است؛ مانند کاهکش (۱۳۷۵) در ارزیابی قابلیت فرسایش خاک با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعهٔ موردی حوضه آبریز دریاچه سد دز) به این نتیجه رسید که در قسمت‌های مرتفع حوضه که منطبق بر شیب‌های تند و بارندگی شدید است بیشترین حساسیت به فرسایش خاک وجود دارد ودر قسمت‌های پست‌ترحوضه از میزان فعالیت این عوامل کاسته شده است ورحمت نیا (۱۳۷٦) در مطالعه موردی زیر حوضه های غرب و جنوب غرب قره‌سو، ضمن تهیه نقشه پهنه‌بندی فرسایش با استفاده از GIS به این نتیجه رسید که تصاویر ماهواره ای و GIS دقت و سرعت زیادی برای رسم نقشه کاربری اراضی دارد. همچنین شناسایی کانون‌های بحرانی و حساس به فرسایش بادی، طرح‌های صورت گرفته بوسیله نهادها و سازمان‌های دولتی و غیر دولتی و همچنین پایان‌نامه‌های تحصیلات تکمیلی، نمونه هایی از این پژوهش‌هاست. آوو[۳] و همکاران (۱۹۹۷) به بررسی کاربرد مدل های برآورد فرسایش USLE و SLEMSA[٤] در نقشه‌برداری پتانسیل خطر فرسایش در جنوب غرب نیجریه پرداخته اند. آتندا[٥] (۲۰۰۲) کیفیت کیفیت خطر فرسایش آبی در دشت مرطوب بنین[٦] را با استفاده از دو مدل USLE و SLEMSA مورد ارزیابی قرار داده و نتیجه گرفته است که مدل SLEMSA به دلیل تشابه نتایج آن با نتایج طرح‌های صورت گرفته، انطباق بهتری با شرایط گرمسیری دارد. ورین[۷] (۲۰۰۳) نیز در مقاله‌ای به بررسی سه مدل USLE/RUSLE/SLEMSA، پرداخته و به اهمیت انتخاب مدل بر اساس اثبات کیفیت آن معتقد است. دوگان[۸] (۱۹۹۸)، با استفاده از مدل USLE، فرسایش خاک در کشور

---

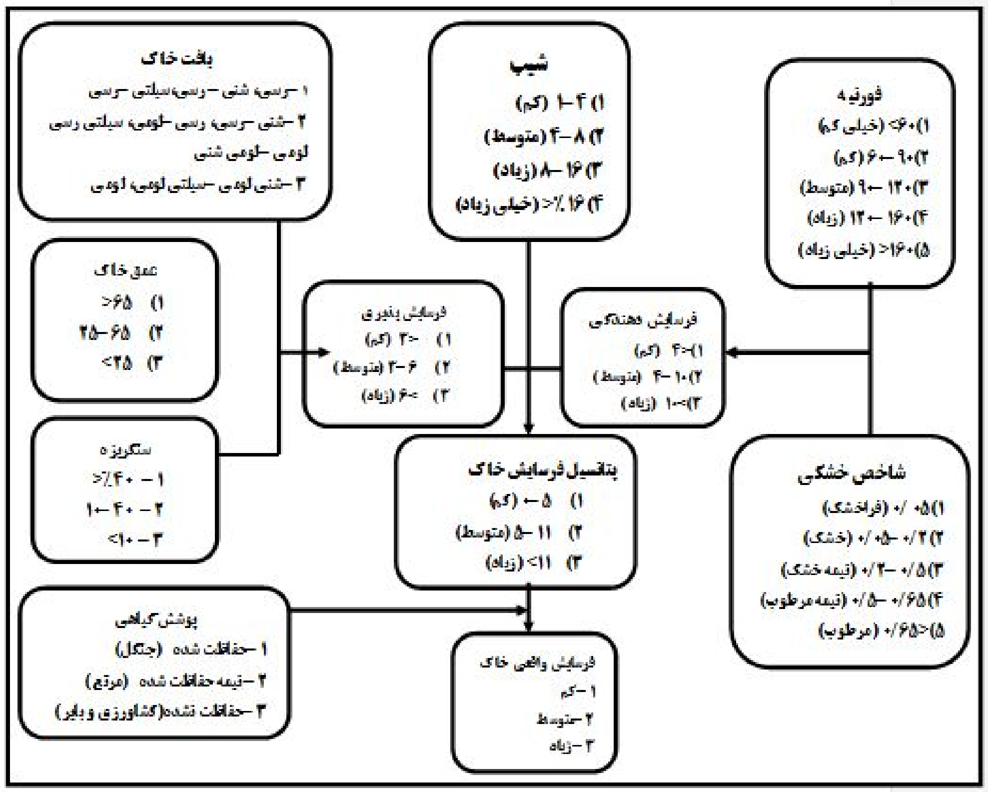
1 Erosivity
2 Erodibility
3 Igwe
4 Slemsa (Soil Loss Estimation Model for Southern Africa)
5 Attanda
6 Benin
7 Svorin
8 Dogan

ترکیه را مورد ارزیابی قرار داده است. پژوهش وی مؤید افت شدید خاک در منطقه مطالعاتی بوده است. مورگان[1] و همکـاران (۱۹۸٤)، سرعت افت خاک را در مناطق کشاورزی تراس‌های هیمالیا، بالای ٥٦ تن در هکتار در سال بر آورد کردنـد. ایـن در حالی است که پایین‌ترین افت خاک در اراضی با درختان انبوه و زمین های آبیاری شده برنج، با کمتـر از ۱ تـن در هکتـار در سال بوده است. جیتاس[2] و همکاران (۲۰۰۰)، مطالعه‌ای پیرامون تخمین خطر فرسایش خاک بـا اسـتفاده از مـدل USLE در یونان انجام دادند که نتایج به دست آمده حاکی از خطر افت خاک بسیار پایین در یونـان اسـت. گـریم[3] و همکـاران (۲۰۰۳)، خطر فرسایش خاک را با استفاده از مدل USLE در ایتالیا برآورد کردند. نتایج آنها بیانگر خطر افت خاک بسیار پایین در ایتالیـا بوده است. دینگیز[4] و همکاران (۲۰۰٤)، خطر فرسایش خاک را در منطقه گلباسی[5]، در جنوب آنکارا با استفاده از مـدل کُـرین تخمین زدند. نتایج به دست آمده نشان دهندهٔ این بود که ۷۹/۲٪ از مناطق مورد مطالعه با خطـر فرسـایش کـم، ۲۳/۸٪ خطـر متوسط و ۱٪ با خطر فرسایش بالا روبرو است. یوکسل[6] و همکاران (۲۰۰۸)، بـا کمـک نـرم افـزار ArcGIS و RS، نقشـه فرسایش خاک حوضه سد کارتیکایا[7] در ترکیه را بر اساس مدل کُرین تهیه کردند. نتایج به دست آمده از حوضه سد نشان داد داد در حدود ۳۳٪ منطقه در کلاس کم، ۳۵٪ در کلاس متوسط و ۳۰٪ در کلاس بالای فرسایش خاک واقع شـده اسـت. در پژوهشی مشابه، پارلک[8] و همکاران (۲۰۰۳)، فرسایش خاک را در سد کورتبوگازی[9] آنکارا با مدل کُرین برآورد کردنـد. طبـق نتایج به دست آمده ۸۳٪ منطقه مورد مطالعه فرسایش کم، ۱۵٪ متوسط و کمتر از ۱٪ در شمال شرق حوضه سد، با فرسـایش واقعی خاک بالایی روبرو است. بایرامین[10] و همکاران (۲۰۰۵)، در مطالعه‌ای در آنکارا با مدل کُرین، با کمک تصاویر مـاهواره طی ۵ دوره مختلف از سال ۱۹۵۸ تا ۲۰۰۳ خطر فرسایش خاک را بررسی کردند. نتایج پژوهش ایشان حـاکی از آن بـود کـه فرسایش خاک در آنکارا در سال ۲۰۰۳، به بیشترین حد خود رسیده و بیش از ۸۵٪ منطقـه مـورد مطالعـه در کـلاس بـالای فرسایش واقعی خاک قرار دارد. آیدین[11] و همکاران (۲۰۱۰)، بر اساس مدل کُرین در محیط GIS، فرسایش خاک در حوضه سد استانبول را بررسی کردند. طبق تحقیقات ایشان، فرسایش خاک در حوضه سد از سـال ۱۹۸٤ تـا ۲۰۰۳ از ۱۷٪ بـه ۲۷٪ افزایش داشته است.

یکی از مدل‌های کاربردی تخمین فرسایش خاک و نمایش توزیع فضایی فرسایش خاک، مدل یا روش کرین می‌باشـد. این مدل بر پایه معادله جهانی افت خاک(USLE)، توسعه و بسط داده شده است. لازم به ذکـر اسـت کـه مـدل کُـرین

1 Morgan
2 Gitas
3 Grimm
4 Dengiz
5 Globasi
6 Yuksel
7 Kartalkaya
8 Parlak
9 Kurtbogazi
10 Bayramin
11 Aydin

اولین بار توسط مایکل کریکبی[1] در سال ۲۰۰۱ به کار گرفته شده است. این روش برای محاسبه فرسایش واقعی خاک به عوامل فرسایش پذیری، فرسایش دهندگی، شیب و پوشش گیاهی یا کاربری اراضی نیازمند می‌باشد. مراحل مدل کُرین اصلاح شده که در این پژوهش ملاک عمل قرار گرفته است، در شکل (۱) نمایش داده شده است. داده‌های پوشش گیاهی در مدل کُرین یکی از مهم‌ترین پارامترها برای رسیدن به نقشه فرسایش واقعی خاک است؛ چرا که شدت پوشش گیاهی اهمیت بسزایی در کاهش فرسایش دارد (یوکسل و همکاران، ۲۰۰۸: ٤٦٥٩).



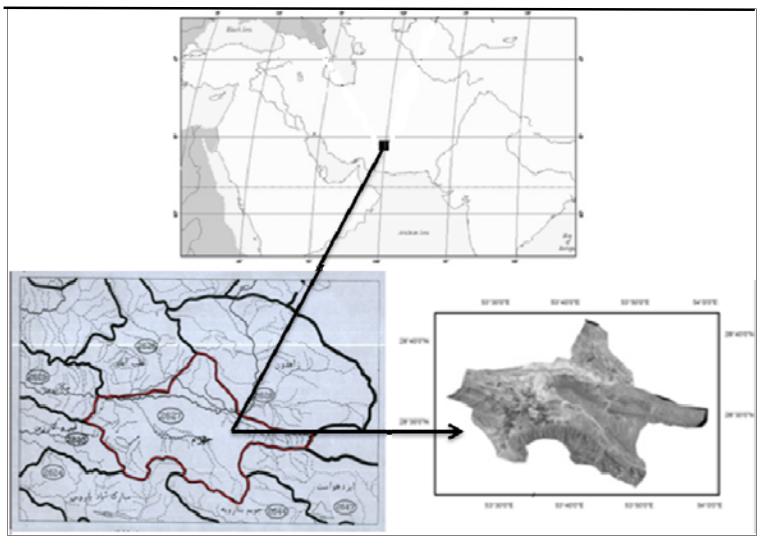
شکل ۱ مراحل الگوریتم کُرین اصلاح شده

هدف از این پژوهش بررسی و ارزیابی میزان افت واقعی و پتانسیل خاک در قالب محاسبه عوامل فرسایش دهنده و فرسایش پذیری خاک با استفاده از الگوریتم کرین است. شاید بتوان گفت این پژوهش برای نخستین بار در ایران به منظور تهیه نقشه خطر فرسایش واقعی خاک با روش کُرین به کار گرفته شده است.

منطقه مورد مطالعه

1 M. Krikby

منطقه مطالعاتی پژوهش را حوضه آبخیز جهرم با مساحت ۱۰۰۸ کیلـومتر مربـع تشـکیل مـی‌دهـد کـه در عـرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۷۰ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۳ درجـه و ۳۸ دقیقـه تـا ۵۳ درجـه و ۹۹ دقیقه واقع شده است (شکل ۲). توپوگرافی حوضه را کوهستان و دشت تشـکیل مـی‌دهـد کـه قسـمت کوهسـتانی در جنوب، جنوب غرب و شمال شرق حوضه دیده می‌شود و قسمت‌های شمالی و مرکزی، بخش کم شیب حوضه را در بر می‌گیرد. نواحی دشتی، قسمت‌های شرق و شمالی را شامل می‌شود و در قسمت‌های شرقی شاهد مراتع و زمین‌هـای مزروعی نیزهستیم. در حوضه آبخیز جهرم به دلیل وجود سازندهای حساس به فرسایش مانند آسـماری-جهـرم، رازک، چمپه، آغاجاری، بختیاری و رسوبات کواترنری (شکل ۳)، شواهدی از فرسایش سـطحی، شـیاری، خنـدقی، تـوده ای، رودخانه ای و انحلالی یافت شده است و با مشکل فرسایش خاک روبه رو است (اداره جهاد کشاورزی و منابع طبیعـی شهرستان جهرم، ١٣٨٤).



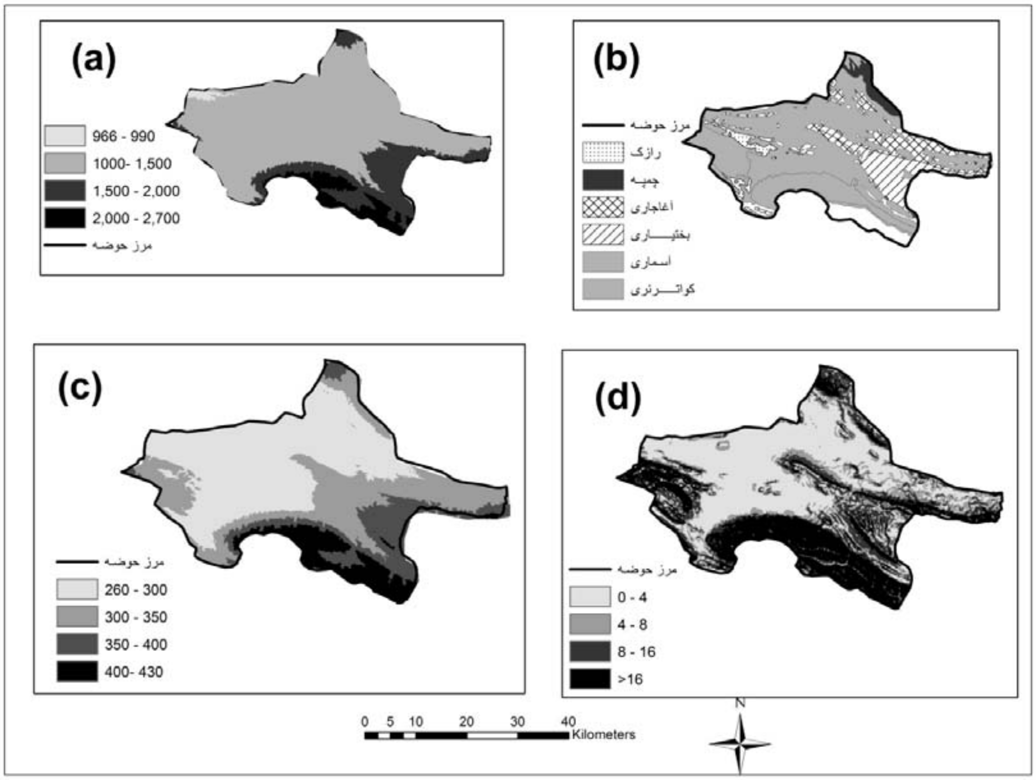
شکل ۲ موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

در حوضه جهرم، سازندهای رازک، آغاجاری و چمپه از سازند گچساران قابلیت رسوب‌زایی بالایی دارند. در مقابـل سازند آهکی آسماری جهرم با توجه به ساختار زمین شناسی خود از استحکام بالایی برخوردار بوده و در کنار آن سازند بختیاری نیز یک درجه کمتر از همین ویژگی برخوردار است. این دو سازند پتانسیل رسوب زایی بسیار کمی دارند. مواد مادری خاک‌های حوضه،از رسوبات آبرفتی دوران چهارم (کواترنر) است. مهم‌ترین رودخانه حوضـه، رودخانـه فصـلی شور که از وسط حوضه می‌گذرد و رودخانه فرعی چاه قوچ است و شیب آبراهه اصلی آن زیاد تا متوسط است.

در خصوص ویژگی‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه و مجاور آن، آمار ۳۵ ایستگاه مورد استفاده قرار گرفته اسـت. در حوضه مطالعاتی، دی ماه سردترین ماه سال و مردادماه گرم‌ترین ماه سال می‌باشد. از نظر دمایی حوضه، دارای دو فصـل

سرد و گرم (زمستان و تابستان) و دو فصل متناوب (بهار و پاییز) با دمای متعادل است. دامنه متوسط دمای سالانه ایستگاه‌های منطقه بین ١٩/٧ درجه در ایستگاه سروو تا ٢٣/٨ در ایستگاه لامرد و مبارک آباد در نوسان است. متوسط حداکثر دمای سالیانه حوضه، بین ٢٦/٢٥ تا ٣١/٦ درجه سلسیوس در ایستگاه‌های سروو و مبارک آباد در نوسان است. کمترین میانگین حداقل دمای ماهیانه در (دیماه) با مقدار ١/٣ درجه سلسیوس در ایستگاه فسا و بالاترین مقدار حداکثر دما ماهیانه برابر با ٢٦/٥ درجه (مرداد ماه) در ایستگاه لارستان به ثبت رسیده است. حداکثر مطلق دمای ثبت شده برابر با ٤٩ درجه سانتی‌گراد در ایستگاه‌های مبارک آباد و حداقل مطلق درجه حرارت ثبت شده برابر با ٦/٢- درجه سانتی گراد در دی ماه در ایستگاه فسا رخ داده است.

متوسط میزان بارندگی از ٢٠٥ تا ٣٨٧ میلی متر در بین ایستگاه های لارستان و سروو متغیر است. بیشترین مقدار بارش ماهانه ٩٨ میلی‌متر در ایستگاه سروو و در دی ماه و کمترین مقدار بارش در غالب ایستگاه‌ها در فصل تابستان ثبت شده است. حداکثر بارش ٢٤ ساعته مربوط به ایستگاه فسا در سال آماری ٦٦-١٣٦٥ رخ داده است. بیشترین بارش ماهانه با ٤٥١ میلی متردر ایستگاه سروو (آذرماه) به ثبت رسیده است. تبخیر سالانه ایستگاه‌ها بین ٢١٥٠ میلیمتر (ایستگاه دارب) و ٣٢٦٠ میلیمتر (ایستگاه لارستان) در نوسان است. بیشترین تبخیر ماهانه با ٤٨٩ میلیمتر در تیرماه در ایستگاه لارستان به ثبت رسیده است. به طور کلی بیشترین تبخیرها در فصل تابستان و کمترین آنها در فصل زمستان رخ می‌دهد. در شکل ٣، نقشه زمین شناسی، طبقات ارتفاعی، شیب و مناطق هم بارش منطقه مطالعاتی، نمایش داده شده است.



شکل ۳ نقشه طبقات ارتفاع (**a**)، نقشه زمین شناسی (**b**)، نقشه هم بارش (**c**) و شیب (**d**) حوضه آبخیز جهرم

مواد و روش‌ها

در این مطالعه پس از تعیین محدوده مورد مطالعه و تعیین مرز حوضه آبریز در محیط GIS، به منظور تهیه کلیه لایه-های اطلاعاتی نظیر نقشه فرسایش‌دهندگی و فرسایش‌پذیری، با کمک نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاع (DEM) محدوده مطالعاتی تهیه شد (شکل۳). سپس با کمک DEM تهیه شده، شیب منطقه در چهار کلاس تهیه گردید (جدول ۱). شایان ذکر است از آنجا که در این مطالعه، عامل شیب به عنوان لایه اصلی در برآورد میزان خطر فرسایش بالقوه خاک محسوب شده است و با توجه به اینکه، در تیپ‌های ژئومورفولوژی بسته به شیب‌های متفاوت، میزان فرسایش‌دهندگی و بالتبع فرسایش‌پذیری خاک متفاوت است، کلاس‌بندی شیب با عنایت به درجه شیب تیپ‌های ژئومورفولوژی در منطقه صورت گرفت (جدول۱).

جدول ۱ کلاس‌های شیب منطقه بر پایه تیپ‌های ژئومورفولوژی

طبقات شیب (%)	تیپ ژئومورفولوژی	مساحت (km^2)	کلاس کیفی شیب
٤-۱	دشت‌سر پوشیده	۵۰۸	کم

٨–٤	دشت‌سر آپانداژ	١١	متوسط
١٦–٨	دشت‌سر فرسایشی	٩	زیاد
>١٦	کوه	٤٨٠	خیلی زیاد

پس از تهیه نقشه شیب، نسبت به تهیه لایه‌های مختلف اطلاعاتی که در روش کرٌین جهت برآورد فرسایش خاک استفاده می‌شود، اقدام شد. با توجه به الگوریتم کرٌین، دو لایه فرسایش‌دهندگی و فرسایش‌پذیری خاک در تهیه خطر فرسایش بالقوه و واقعی خاک همراه با لایه‌های پوشش گیاهی و شیب به‌کار می‌روند. در این مطالعه، شیوه تهیه لایه‌های مذکور، با توجه به شرایط منطقه مطالعاتی، در روش کٌرین، اصلاح گردید (شکل ۱). کلاس‌های شیب، شاخص خشکی و طبقات کاربری با توجه به منطقه مطالعاتی انتخاب و اجرا گردید.

در این مطالعه، به منظور تهیه نقشه فرسایش‌دهندگی از شاخص فورنیه (رابطه ۱) و شاخص خشکی (رابطه۲) کمک گرفته شده است.

$$FI = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{p} \quad (۱)$$

Pi= متوسط بارش ماهانه (mm)

i= ماه

P= میانگین بارش سالانه (mm)

جهت محاسبه شاخص فورنیه از آمار بارش ایستگاه‌های موجود اداره هواشناسی بهره گرفته شده است. جدول ۲، آمار بارش ایستگاه اقلیم‌شناسی جهرم را بر اساس آمار و داده‌های اداره هواشناسی فارس و شرکت آب منطقه‌ای استان نشان می‌دهد. آمار هر ایستگاه معرف میانگین ٤٠ ساله آمار بارندگی برای هر ماه است.

شاخص فورنیه، به نوعی بیانگر درجه عملکرد عامل فرسایش‌دهنده خاک است. به عبارتی میزان نقش عامل بارش را در فرسایش‌دهندگی خاک نشان می‌دهد.

شاخص خشکی فائو– یونپ[1] بیانگر عملکرد همزمان تبخیر و بارش در فرسایش‌دهندگی یک منطقه است. رابطه ۲، شاخص مذکور را که بر حسب متوسط بارش سالانه به متوسط تبخیر و تعرق سالانه است، نشان می دهد (اختصاصی و سپهر، ۱۳۹۰). تبخیر و تعرق بر اساس آمار ایستگاه‌های منطقه مطابق جدول (۳) محاسبه شده است.

$$\frac{P}{ETP} \quad (۲)$$

P= متوسط بارش سالانه

ETP= متوسط تبخیر و تعرق

1 Transeau (FAO/UNEP)

داده‌های اقلیمی شامل متوسط بارش ماهانه و متوسط تبخیر و تعرق، طی یک دوره ٤۰ ساله از ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ و از ۳۵ ایستگاه اقلیمی به‌دست آمده است که جدول ۲ و ۳ چند ایستگاه را به عنوان نمونه نشان می‌دهد.پس از انجام محاسبات مربوط به شاخص خشکی و شاخص فورنیه، جهت برآورد و تخمین میزان شاخص فرسایش دهندگی، با استفاده از ضرب ارزش‌های عددی طبقات مطابق رابطه ۳، شاخص فرسایش‌دهندگی محاسبه شده است.

جدول ۲ میانگین بارش سالانه و ماهانه (**mm**) ایستگاه های حوضه آبریز منطقه در دوره ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰

ایستگاه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
جهرم	۱	۱۲	٦۱	۷۸	٥٤	٤٤	۲٥	۷	۱	۱	۲	۱	۲۸۰
بابا عرب	۱	۹	٤٥	٦۲	٥۲	٤۳	۲٤	۸	۱	۲	۳	۱	۲٤۰
فسا	۱	۱۱	٦۰	۸۰	٦٥	٥۳	۲۹	۹	۰	۱	۲	۰	۳۱۱
سروو	۱	۱۲	۷٦	۹۸	۸۱	٦۸	۳٥	۱۲	۱	۳	۷	٤	۳۸۷
مبارک آباد	۱	۹	٦٤	۷٦	٤۷	٤٦	۲۲	۷	۱	۱	۱	۱	۲۷٥
لارستان	۱/٥۹	۳/۱۹	۲۷/٥	٤٤/۲	٤۲/۲	۳۳/٦	۲۱/۳	٦/۱۹	٤/۸	٤/۸	۱۱/۳	٤/٤	۲۰٥/٤
داراب	۰/۳	٤/۱۳	٤٥/۳	٦٦/۹	٥۸/۹	٤٤/۷	۳۳/۹	٦/۷	۱/۳	۱/۰۹	۳/۹	۰/۷	۲٥۰/۱

جدول ۳ متوسط تبخیر و تعرق سالانه و ماهانه (**mm**) ایستگاه‌های منطقه در دوره ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰

ایستگاه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
جهرم	۲۰٤	۳۰۹	۳۸۹	٤۱۸	۳۹۳	۳٤۱	۲٤۲	۱٥۰	۸٦	٦۱	۸۲	۱۲۳	۲۳۸۷
بابا عرب	۲۳۱	۱٤٥	۷۹	٦۳	۸۰	۱۲۰	۱۸۳	۲۸۸	۳۷٦	٤۱۲	۳۸۷	۳۳۷	۲۷۰۱
فسا	۱۷۹	۲۹٤	٤۲۱	٤٥۱	٤۲٥	۳٥۳	۲٤۹	۱٤۲	٦۱	۲۲	۳۳	٦۸	/۸ ۲٦۱۰
سروو	۲۹٥	۱۹٤	۱۱۲	۸۸	۱۰٥	۱٥۱	۲۳۱	۳۳۹	٤۳۲	٤٦٤	٤۳۰	۳۸۹	۳۳۳۱
مبارک آباد	۲٥٤	۱٤۷	۸۲	٦٦	۸۱	۱۱۸	۱۹۱	۳۲۲	٤۲۲	٤٦۱	٤۳٤	۳۷۲	۲۹٥۰
لارستان	۲۹٤	۲۰۹	۱۱۷	۸۲	۹۳	۱۳٤	۲۲۲	۳۳۸	٤٤۱	٤۸۹	٤٥۷	۳۸۲	۳۳٦۰

داراب	۱٤٥/۲	۲٥٤/۸	۳۲٥/٥	۳٥٤/۲	۳۷۲/٦	۲۸۰	۱۸٦/۸	۱۱٥/٤	٥۷	٥۸/۸	۰	۰	۲۱٥۰/۳

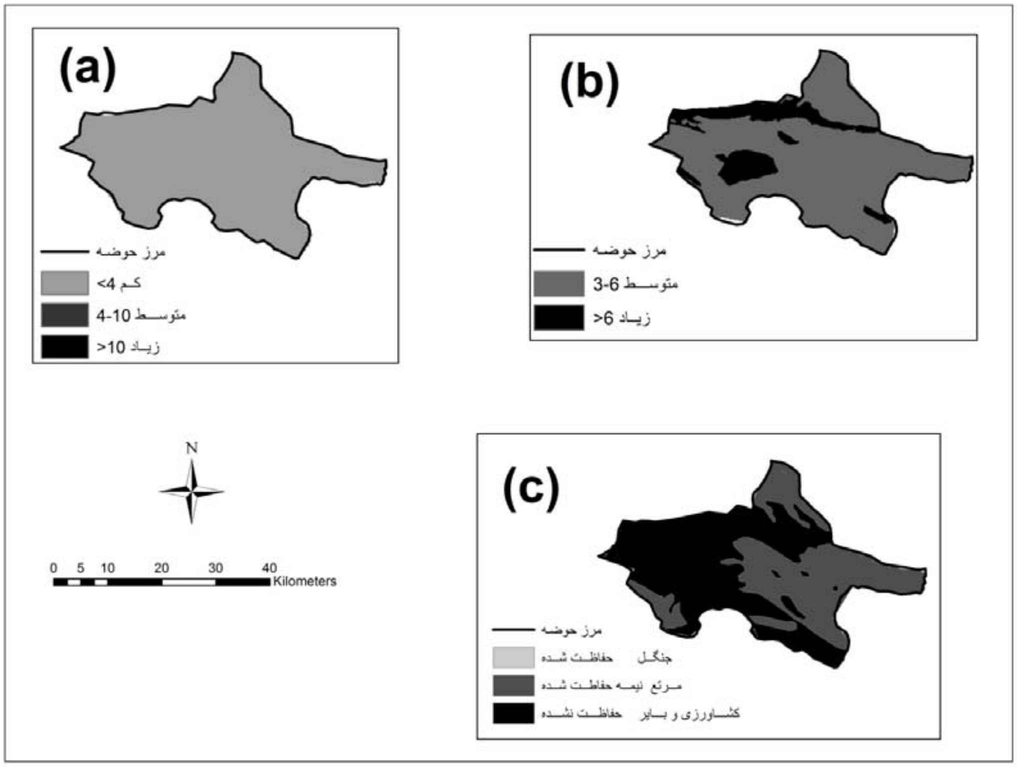
سپس با استفاده از نرم افراز ArcGIS10 و تابع SPLINE، نقاط ایستگاه‌های اقلیمی منطقـه، میانیـابی و در نهایـت نقشه فرسایش دهندگی خاک (Soil Erosivity) با کمک رابطه ۳، تهیه شده است (شکل٤).

$$Erosivity\ Index = Variability\ Class \times Aridity\ Class \quad :۳$$

پس از انجام محاسبه شاخص فرسایش‌دهندگی در منطقه، باید فرسایش پذیری خاک را نیز برآورد نمود. برای انجام این هدف، با استفاده ازشاخص‌های بافت خاک، عمق خاک و درجه سنگلاخی بودن خاک، که بر اساس الگوریتم کرین (شکل ۱) بررسی و با استفاده از اطلاعات نقشه ۱:۲٥۰۰۰۰ خاک منطقه استخراج شد، نقشه و شاخص فرسایش پذیری خاک محاسبه شده است.

جهت محاسبه شاخص فرسایش‌پذیری خاک، با استفاده از ضرب ارزش عددی معیارها، مطابق رابطـه ٤، شـاخص فرسایش‌پذیری خاک برآورد و نقشه مذکور در محیط GIS تهیه شد (شکل ٤).

$$Soil\ Erodibility\ Index = Texture\ Class \times Depth\ Class \times Stoniness\ Class \quad :٤$$



شکل ٤ نقشه فرسایش دهندگی (**a**)، فرسایش پذیری (**b**) و نقشه پوشش گیاهی (**c**) حوضهٔ آبخیز جهرم

سپس نقشه پتانسیل فرسایش خاک منطقه (خطر فرسایش بالقوه) از تلفیق نقشه فرسایش‌پذیری خاک (Soil Erodibility)، فرسایش دهندگی (Soil Erosivity) و نقشه شیب، حاصل شده است (شکل ٦). برای این منظور از تابع Raster Calculator استفاده شده است.

جهت برآورد میزان خطر فرسایش واقعی، نیازمند محاسبه میزان فرسایش بر پایه پوشش گیاهی منطقه هستیم.ازاین رو در این پژوهش، پس از تهیه نقشه خطر فرسایش بالقوه، جهت تهیه نقشه خطر فرسایش بالفعل یا واقعی از نقشه پوشش بهره گرفته شده است. نقشه پوشش گیاهی در ۳ کلاس تقسیم بندی شد: کلاس اول، طبقه حفاظت شده که بیانگر پوشش جنگل منطقه است؛ کلاس دوم منطقه نیمه حفاظت شده که پوشش مرتع را در بر می‌گیرد و بخش اعظم شرق حوضه را به خود اختصاص داده است و گونه رایج آن آستاراگالوس (گون) می‌باشد و کلاس سوم که بیشترین بخش را به خود اختصاص داده است، منطقه حفاظت نشده که شامل بخش کشاورزی و بایر می‌باشد (شکل ٤).

در نهایت نقشه خطر فرسایش واقعی خاک، از تلفیق نقشه خطر فرسایش بالقوه (پتانسیل) خاک و نقشه پوشش گیاهی، حاصل شد (شکل٦). برای تهیه این نقشه هم مانند نقشه پتانسیل از ابزار Raster Calculator استفاده شده است.

بحث و نتایج

شاخص فرسایندگی فورنیه در حوضه مطالعاتی در حدود ٥٠/٧ محاسبه شد که در کلاس (یک) قرار گرفته است. محاسبه شاخص خشکی ترانسو در حوضه آبخیز جهرم، منطقه اقلیمی خشک را برای حوضه در پی داشت؛ازاین رو نقشه فرسایش‌دهندگی حوضه مطالعاتی، با مقدار کمتر از ٤ در کلاس (یک) یا قدرت فرسایندگی کم قرار گرفت.

نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های عامل خاک نشان می‌دهد که بافت خاک در کلاس کم (یک)، عمق در کلاس (سه) کمتر از ٢٥ سانتیمتر و درجه سنگلاخی در کلاس متوسط، قرار گرفته‌اند و در نهایت موجب شده است تا فرسایش‌پذیری خاک حوضه مطالعاتی در کلاس متوسط حساسیت به فرسایش در برابر عامل فرسایش‌دهنده قرار گیرد. بنابراین ٨٣٪ منطقه مطالعاتی قابلیت فرسایش پذیری متوسطی را دارا هستند.

نقشه شیب که از روی نقشه DEM و نقشه توپوگرافی ٥٠٠٠٠: ١ تهیه شد و طبق مدل کُرین اصلاح شده در چهار کلاس طبقه بندی شده است، نشان می دهد که ٢٩/٢ درصد از حوضه در شیب بالای ١٦٪ (خیلی تند) واقع شده است و همچنین نواحی که در نقشه فرسایش واقعی کلاس بالای فرسایش را دارند، در این نواحی قرار گرفته‌اند و مناطقی که دارای فرسایش پتانسیل و واقعی کمی هستند در شیب های کمتر از ٤ ٪ قرار دارند.

تلفیق سه نقشه فرسایش‌پذیری، فرسایش‌دهندگی و شیب به نقشه خطر فرسایش پتانسیل یا بالقوه خاک (شکل ٦) منجر شد. درنقشه ذکر شده حدود ٦٨/٢ درصد حوضه آبخیز جهرم که نواحی جنوب، غرب، جنوب‌غرب، شمال‌شرق و بخشی از شمال‌غرب را در بر می‌گیرد، در کلاس بالا و متوسط فرسایش طبقه‌بندی شد. نقشه کاربری پوشش گیاهی (شکل ٤) بر مبنای تقسیم‌بندی سه گانه نشان داد که ٣٩٪ منطقه دارای پوشش مرتعی فقیر تا نیمه فقیر می‌باشد و زمینه فرسایش را قوت بخشیده است.

نقشه واقعی فرسایش خاک حوضه (شکل٦) که از تلفیق نقشه پوشش گیاهی و نقشه فرسایش پتانسیل خاک تهیه شده است، بیانگر وجود ٧٦٪ فرسایش کم در منطقه مطالعاتی است که شامل نواحی شمالی، شرقی و مرکزی حوضه می‌باشد و ٣٪ منطقه با فرسایش زیاد روبرو است که مناطق جنوب‌غربی و قسمت‌هایی از غرب حوضه را در بر می‌گیرد.در مناطقی که دارای فرسایش واقعی بالایی‌اند در نواحی با بیشترین بارش، بیشترین شیب و کمترین پوشش گیاهی دیده می‌شود.

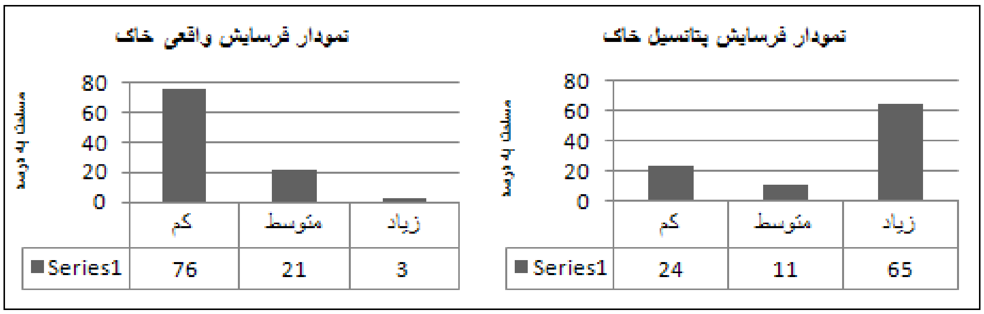
مقایسه فرسایش پتانسیل و فرسایش واقعی خاک

جدول ٤، فرسایش پتانسیل خاک را نشان می‌دهد و طبق داده‌های این جدول، ٢٤ درصد منطقه دارای فرسایش پتانسیل کم، ١١ درصد فرسایش متوسط و ٦٥ درصد دارای فرسایش پتانسیل زیاد است که بیشترین مساحت (٦٩٤ کیلومتر مربع) را تشکیل می دهد.

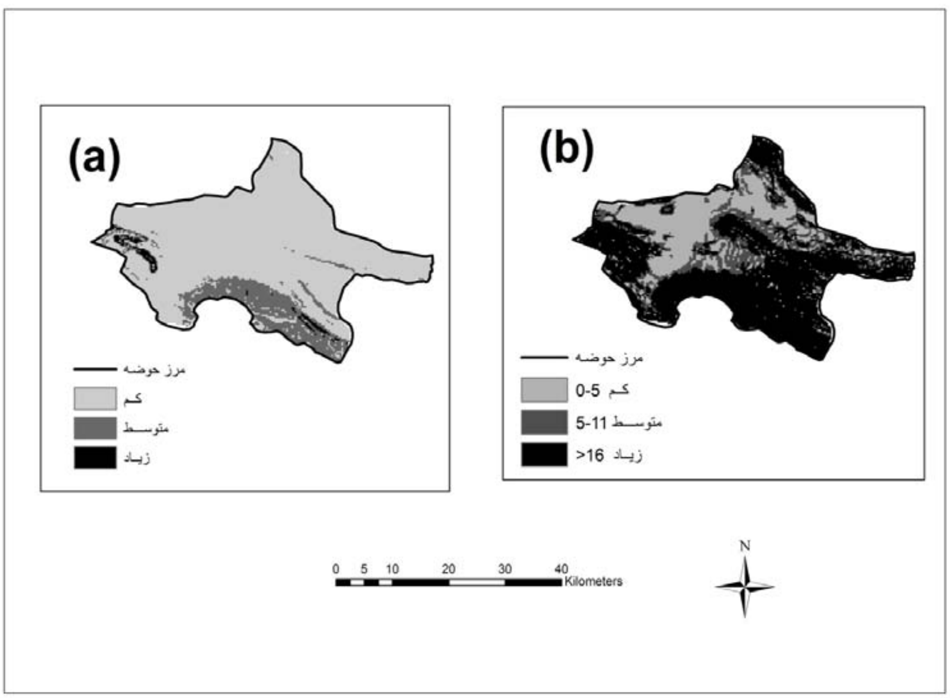
در نهایت نقشه فرسایش بالقوه خاک، با ادغام در نقشه کاربری پوشش گیاهی، منجر به تولید نقشه فرسایش واقعی خاک شد. نتایج نمودار خطر فرسایش واقعی خاک نشان می‌دهد که ٧٦ درصد منطقه دارای فرسایش واقعی کم، ٢١ درصد متوسط و٣ درصد با فرسایش زیاد رو به رو هستند (شکل ٥).

جدول ٤ توزیع فرسایش پتانسیل و واقعی خاک در منطقه مورد مطالعه

	فرسایش پتانسیل خاک			فرسایش واقعی خاک		
	طبقه	km^2	درصد	طبقه	km^2	درصد
۱	۰–۵	۲٦٤	٪۲٤	کم	۷٤۳	٪۷٦
۲	۵–۱۱	۵۰	٪۱۱	متوسط	۲٤۰	٪۲۱
۳	۱۱<	٦۹٤	٪٦۵	زیاد	۲۵	٪۳
		۱۰۰۸	٪۱۰۰		۱۰۰۸	٪۱۰۰



شکل ۵ نمودار درصد فراوانی فرسایش واقعی و پتانسیل خاک حوضه آبخیز جهرم



شکل٦ نقشه فرسایش واقعی (**a**) و فرسایش پتانسیل (**b**) خاک حوضه آبخیز جهرم

همان‌طور که در شکل ٦ ملاحظه می‌شود، مقادیر فرسایش واقعی و فرسایش پتانسیل حوضه مطالعه شده با هم متفاوت است و این تفاوت به لحاظ شدن پوشش گیاهی در محاسبه فرسایش واقعی، بر می‌گردد. پوشش گیاهی قادر است فرسایش خاک را کنترل کند. با توجه به شکل ٦، پس از محاسبه فرسایش پتانسیل و واقعی خاک مشاهده می‌شود که بعد از لحاظ شدن لایه پوشش، کلاس کم در خطر فرسایش بالقوه از ٢٤ درصد به ٧٦ درصد در خطر فرسایش واقعی افزایش یافته است و همچنین کلاس زیاد فرسایش بالقوه از ٦٥ درصد به ٣ درصد در فرسایش واقعی کاهش چشمگیری داشته است. نتایج به دست آمده حاکی از نقش بسیار زیاد پوشش گیاهی در فرسایش خاک است و نکته حائز اهمیت این که کنترل پوشش گیاهی تا حد زیادی به انسان بر می‌گردد. بنابراین با اجرا کردن اقدامات حفاظتی و ممنوع کردن بهره‌برداری از مناطق حساس خاک، فرسایش خاک به میزان زیادی کاهش خواهد یافت. عامل‌های شیب، بارندگی و فرسایش‌پذیری خاک از جمله عوامل ذاتی و تعیین کننده حساسیت خاک نسبت به فرسایش است، ولی مهار دو عامل دیگر، یعنی پوشش گیاهی و مسائل حفاظتی در دست انسان است.

این پژوهش با کاربرد GIS و بر اساس مدل کُرین اصلاح شده به منظور رسیدن به نقشه فرسایش واقعی خاک تهیه شده است. هرچند که مدل کُرین قادر نیست مقدار و میزان تولید رسوبات را تخمین بزند، اما با تهیه نقشه خطر فرسایش واقعی خاک، توان تجزیه و تحلیل‌ها و اجرای طرح‌های حفاظت محیطی را بالا برده و درک دقیق-تری از وضعیت منطقه خواهد داد.

نتیجه‌گیری

پس از بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌ها، نقشه فرسایش واقعی خاک حوضه آبخیز جهرم تهیه شده است. شکل (٦) به خوبی نشان می‌دهد اگرچه فرسایش واقعی حوضه کوچکی را در بر گرفته است، اما با سهل انگاری و عدم تمهیدات لازم به سرعت جای خود را به محدوده بسیار بزرگی خواهد داد که جبران‌ناپذیر خواهد بود.

نتایج به دست آمده حاکی از نقش بسیار زیاد پوشش گیاهی در فرسایش خاک است و نکته حائز اهمیت این که کنترل پوشش گیاهی تا حد زیادی به انسان بر می‌گردد. بنابراین با اجرا کردن اقدامات حفاظتی و ممنوع کردن بهره‌برداری از مناطق حساس خاک، فرسایش خاک به میزان زیادی کاهش خواهد یافت. عامل‌های شیب، بارندگی و فرسایش پذیری خاک از جمله عوامل ذاتی و تعیین کننده حساسیت خاک نسبت به فرسایش است، ولی مهار دو عامل دیگر، یعنی پوشش گیاهی و مسائل حفاظتی در دست انسان است.

این پژوهش با کاربرد GIS و بر اساس مدل کُرین اصلاح شده به منظور رسیدن به نقشه فرسایش واقعی خاک تهیه شده است. هرچند که مدل کُرین قادر نیست مقدار و میزان تولید رسوبات را تخمین بزند، اما با تهیه

نقشه خطر فرسایش واقعی خاک، توان تجزیه و تحلیل‌ها و اجرای طرح‌های حفاظت محیطی را بالا بـرده و درک دقیق‌تری از وضعیت منطقه خواهد داد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله، از شرکت مهندسین مشاور پورآب فارس، که با حمایت معنـوی و در اختیـار گذاشـتن اطلاعـات اقلیمی و خاک، پژوهشگران را در رسیدن به اهداف پژوهش حاضر یاری رساندند، کمال تشکر را دارند.

References

Attanda Mouinou Igue., 2002. "The Qualitative Assessment of water erosion risk in moist savanna of Benin". 12th ISCO conference Beijing

Aydin, A., H.B. Tecimen., 2010. Temporal soil erosion risk evaluation: a CORINE methodology application at Elmali dam watershed. Istanbul, Environmental Earth Science journal 61, 1457-1465

Bayramin, I., G. Erpul., H.E. Erdogan., 2006. Use of CORINE Methodology to Assess soil Erosion Risk in the Semi- Arid Area of Beypazari. Ankara, Turk J Agric 30, 81-100

Cartagena, D. F., 2004. "Remotely sensed land cover parameter extraction for watershed erosion modeling". www.itc.nl

Dengiz, O., S. Akgul., 2004. Soil erosion risk assessment of the Golbasi environmental protection are and its vicinity using the CORINE model. Turk J Agric 29, 439-448.

Dogan, O., 1998. Sustainable policies for soil resource management in Turkey. GDRS 212, Research Institute-Ankara.

Ekhtesasi, MR., A. Sepehr., 2012. Methods and models of desertification assessment and mapping, Yaz University press, first edition, 290p.

Gitas, LZ., k. Dourose, C. Minakou., G.N. Silleos, C.G. Karydas., 2000. Multi-Temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. 8 (1), 40-52

Grimm, M., R.JA Jones 2003. Soil erosion risk in Italy: a revised USLE approach. RESEARCH REPORT NO. 11

Hudson, N., 1981. Soil Conservation. The University of Michigan, 324 p.

Kahkesh, M., 1997. Assessment of Soil Erodibility Using GIS and RS (Case Study: Dez Dam Basin), MSc Thesis, Tarbiat Modarres University.

Karami, E., 1994. Soil Conservation and Erosion Control. MSc Thesis, Islamic Azad University, Najaf Abad Branch.

Malava, J., F. Bonda., 1999. " Proposal for research to support erosion hazard assessment in Malawi", Agricultureal engineering Bunda College of Agriculture, www.ag.arizona.edu

Morgan, R.P.C., D.D.V. Morgan., H.J. Finney., 1984. A predictive model for the assessment of soil erosion risk. J. Agric. Engng. Res 30, 245-253.

Parlak, M., Y. Dincsoy., K. Seyrek., 2003. Determination of Erosion Risk According to CORINE Methodology (a case study: KURTBOGAZI DAM). International Congress on River Basin Management, Istanbul, March 2003.

Rahmatnia, A., 1998. Assessment of Soil Erodibility Using GIS & RS (Case study: west and southern west of Gharasou Basin). MSc Thesis, Tarbiat Modarres University

Refahi, HG., 1997. Water Erosion and Control, First Edition, University of Tehran Press. 265 pp.

Rostaei, S., Nikjou, MR., A, Habibzadeh 2011. Investigation of Soil erodibility of Bejoshan Chay Basin based on Fuzzy-GIS. Journal of Geography and planning, Tabriz University 33, 147-173.

Shahoei, S., 1999. Soil erosion and Production Potential. Organization of Agricultural Research, Education and Promotion, Agri education Press, 120 p.

Svorin Josfin., 2003. A test of three soil erosion models incorporated in to a geographical information system, Hydrological processes17, university of Copenhagen.

Yuksel, AI., R. Gundogan, A.E. Akay., 2008. Using the Remote Sensing andGIS Technology for Erosion Risk Mapping of Kartalkaya Dam Watershed in Kahramanmaras, Turkey. *Sensors 8*, 4851-4865